

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.18.022

# 某钢铁厂综合废水深度净化工程实例

郭荣华, 吴寅, 尹玲焕, 杨珊珊, 韩海霞  
(武汉华德环保工程技术有限公司, 湖北 武汉 430080)

**摘要:** 以湖北某钢铁厂综合废水处理提标改造项目为例,分析了废水处理不达标及超标排放的原因,并根据水质特点选择了格栅+隔油沉砂池+平流沉淀池+接触氧化池+高效沉淀池+V型滤池+超滤+两级反渗透的提标改造处理工艺。废水经过深度处理后,新水耗量明显减少,出水水质达到《工业循环冷却水处理设计规范》(GB 50050—2017)的再生水水质要求,并提供脱盐淡水。实践表明,该工艺路线选择合理,运行稳定可靠,可为同类钢厂综合废水提质改造提供参考。

**关键词:** 钢铁工业废水; 接触氧化; 深度处理; 湿地公园

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)18-0116-06

## Case Study on Advanced Treatment of Wastewater from a Steelworks

GUO Rong-hua, WU Yin, YIN Ling-huan, YANG Shan-shan, HAN Hai-xia  
(Wuhan Huade Environmental Protection Engineering & Technology Co. Ltd., Wuhan 430080, China)

**Abstract:** Taking the comprehensive wastewater treatment and upgrading project of a steelworks in Hubei Province as an example, the reasons for the wastewater discharge exceeding the standard are analyzed. According to the water quality characteristics, the upgrading process of grid, oil-isolation grit chamber, horizontal sedimentation tank, contact oxidation tank, high efficiency sedimentation tank, V-type filter, ultrafiltration, and two-stage reverse osmosis is selected. After the advanced treatment of wastewater, the consumption of new water is significantly reduced, the effluent quality meets the requirements of reclaimed water in the *Code for Design of Industrial Recirculating Cooling Water Treatment* (GB 50050-2017), and desalted water can be provided. Practice shows that the selection of process route is reasonable and the operation is stable and reliable, which can provide reference for upgrading and reconstruction of comprehensive wastewater in similar steelworks.

**Key words:** wastewater from iron and steel industry; contact oxidation; advanced treatment; wetland park

钢铁企业是用水大户,需要消耗大量新水<sup>[1]</sup>。目前国内吨钢新水耗量一般为2.3~5 m<sup>3</sup>,国际先进水平在2.5 m<sup>3</sup>以内。湖北某钢铁厂年产钢铁约520×10<sup>4</sup> t,新水耗量约4.5 m<sup>3</sup>/t,全厂实际水回用率仅为90%左右,均有较大提升空间。该厂各车间排放的废水最终汇至综合废水站统一处理后回用。由于废水站设备老化、V型滤池无法正常运行,导致处理效果不好,回用受到限制。为控制全厂水系统

中污染物及盐含量,需要外排废水1.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,且外排水经常有超标现象,不满足环保与企业发展要求。为解决以上问题,该厂对综合废水站进行提质改造,分析存在的问题,挖掘现有设施处理潜力、增加脱盐设施等处理功能;提高废水站出水水质,替代新水;控制水中盐分富集,最终成功实现减少新水耗量、提高回用率、防止废水超标排放等目标。

经过提标改造后,吨钢新水耗量由4.5 m<sup>3</sup>/t降

到  $3 \text{ m}^3/\text{t}$  以内,新水耗量由原来  $2\,670 \text{ m}^3/\text{h}$  降至约  $1\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ ,吨钢新水耗量水平降低约 32.58%。

## 1 项目概况

该厂综合废水处理站二期工程建于 2008 年,设计规模为  $6\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,原工艺流程见图 1。

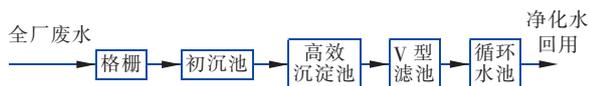


图 1 原废水站工艺流程

Fig. 1 Flow chart of the original wastewater treatment process

综合废水处理站来水包括各主要生产车间生产废水及生活污水、部分雨水等,悬浮物、硬度及盐类含量较高<sup>[2]</sup>,水质及水量变化较大。原采用混凝、沉淀、过滤的传统处理工艺,由于建成年限较长,部分处理设施老化失修,特别是 V 型滤池配水配气不均匀,跑砂严重,无法正常投入使用,导致处理效果较差,回用受到限制;外排水量较大,取新水量较大。原废水站实际进、出水水质见表 1。

表 1 实际进、出水水质

Tab. 1 Actual influent and effluent quality

项目	pH 值	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	氨氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	硬度 ( $\text{CaCO}_3$ )/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TDS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
进水	7~11	$\leq 250$	$\leq 50$	$\leq 10$	$\leq 450$	$\leq 1\,000$
出水	7~8.5	15~20	10~45	1~5	200~250	$\leq 1\,000$

从表 1 可以看出,现有废水站出水 SS 超过  $10 \text{ mg/L}$ ,没有达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。另外,出水 COD 及氨氮接近排放标准限值,在提高回用率和减少外排后有超标风险,需要强化对 COD 及氨氮的去除;出水硬度及含盐量偏高,限制再生回用,需要将部分废水进行脱盐和除硬处理。

改造后设计进、出水水质见表 2。

表 2 改造后设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality after upgrading

项目	pH 值	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	氨氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	硬度 ( $\text{CaCO}_3$ )/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TDS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
进水	7~11	$\leq 250$	$\leq 50$	$\leq 10$	$\leq 450$	$\leq 1\,500$
出水	7~8.5	$\leq 10$	$\leq 30$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 30$

注: 硬度和 TDS 为反渗透出水指标。

针对废水处理站的现状和存在的问题,主要采取如下改造措施:增加接触氧化池等处理单元<sup>[3]</sup>,

确保出水 COD、氨氮达标;改造恢复 V 型滤池功能<sup>[4-5]</sup>,保证出水 SS 达标;增加除盐系统,对部分出水进行除盐处理,控制废水中的盐分及硬度;废水经过除盐后可提供给热电厂、热力厂等作为除盐水补给水源,减少新水消耗及废水外排,实现废水的循环回用。

## 2 提标改造工艺流程

根据废水站实际情况和出水要求,设计提标改造工艺流程见图 2。

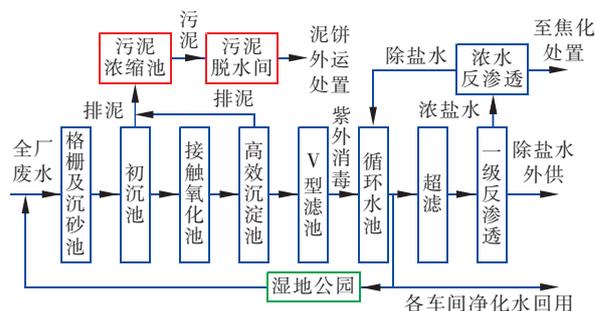


图 2 提标改造工艺流程

Fig. 2 Flow chart of upgrading wastewater treatment process

由图 2 可见,生产废水和生活污水通过粗格栅、细格栅拦截漂浮物后重力流入隔油沉砂池,在隔油沉砂池去除浮油、大颗粒砂粒后进入初沉池。综合废水进入初沉池进一步去除悬浮物,然后进入接触氧化池,通过生化作用去除有机污染物、氨氮等<sup>[6]</sup>,接触氧化池出水经轴流泵提升后进入高效沉淀池,通过投加絮凝剂和石灰去除悬浮物、降低暂时硬度。高效沉淀池出水进入 V 型滤池,进一步去除悬浮物,滤池出水进入紫外消毒渠,经消毒后进入循环水池,成为净化水。

循环水池净化水主要有各车间净化水回用、湿地公园补水、超滤反渗透系统回用三个用途。其中,各车间净化水回用主要作为轧钢、炼钢等车间循环冷却及冲洗水;公园的循环补充水依次进入氧化塘、水平潜流湿地、垂直潜流湿地、景观水池等完成净化;净化水进入超滤原水池,再经过自清洗过滤器处理后进入超滤装置,超滤装置产水进入超滤产水池,作为一级反渗透装置的进水,一级反渗透装置产水进入脱盐用户供水池,脱盐水送至厂区脱盐水用水点回用<sup>[7-8]</sup>,一级反渗透浓水进入浓水反渗透进行再次脱盐处理,浓水反渗透脱盐水送入循环水池与净化水勾兑后,供给用户。浓水反渗透所产生的

浓盐水外送至焦化深度处理系统进一步处置。工艺流程中仅有沉砂池、接触氧化池、超滤及反渗透装置、湿地公园为新建处理单元,其余均为利旧改造。

反渗透膜的选择透过性,使得某些溶质在膜面附近发生积聚,从而发生膜污堵现象。常见的污堵有生物污堵、胶体污堵、金属氢氧化物、化学结垢等,表现为脱盐率下降,以及产水量下降,需要根据污堵情况定期进行化学清洗。在钢铁废水中,容易造成反渗透膜堵塞的主要原因包括:硬度、COD 及硅、铁等<sup>[9-10]</sup>。根据类似钢铁废水处理中反渗透的运行情况,进水总硬度( $\text{CaCO}_3$ )在 200 mg/L 以内时,反渗透膜正常化学清洗频率为 1~2 次/a;当硬度在 1 000 mg/L 以内时,清洗频率为 3~4 次/a;硬度在 1 000 mg/L 以上时,清洗频率明显提高,阻垢剂使用量明显加大。该工程一级反渗透浓水进浓水反渗透处理,一级反渗透出水浓缩约 4 倍,需将一级反渗透进水硬度控制在 250 mg/L 以内,以保证浓水反渗透不至于过于频繁化学清洗。该项目采用的抗污染膜反渗透一般要求进水 COD 不高于 50 mg/L,膜清洗频率和 COD 存在一定正相关性,但不是绝对的正相关<sup>[11]</sup>,超滤等预处理考虑 COD 去除率为 50%,则为保证浓水反渗透进水 COD < 50 mg/L,按一级反渗透浓缩 4 倍考虑,宜保证一级反渗透进水 COD < 12.5 mg/L,超滤进水 COD < 25 mg/L。根据该项目反渗透系统近 8 个月的运行情况,一级反渗透化学清洗可控制在 2 次/a 以内,浓水反渗透则可控制在 4 次/a 以内。

经过改造,主要处理单元的水量平衡见图 3。

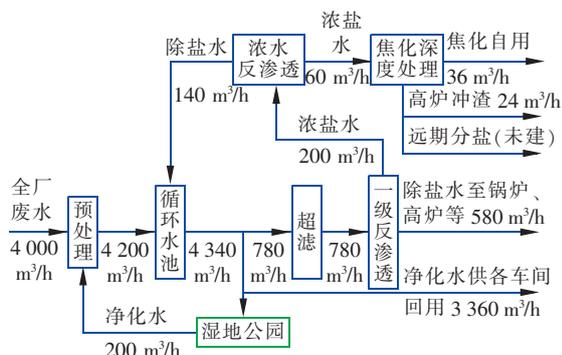


图 3 主要处理单元的水量平衡

Fig. 3 Water balance of main treatment unit

经过此次改造后,新水耗量减至 1 800 m³/h,新水取自长江水,该段平均进水溶解性固体(TDS)为 130~280 mg/L,废水循环 TDS 为 700 mg/L,废水中

盐含量增加主要是新水蒸发所致,废水浓缩约 3 倍,因此废水除盐水量达到 600 m³/h 可满足盐平衡。考虑该厂除盐系统检修、其余分厂对除盐水耗量预期增加以及预留一定安全余量等因素,按 780 m³/h 规模进行废水脱盐系统设计。

### 3 主要建(构)筑物及设备改造

#### ① 初沉池

原初沉池共 4 座,每座分 2 格;原设计处理规模为 6 000 m³/h,单池尺寸 32 m × 47 m,深 4.0 m,有效水深 3.5 m,设吸泥机 8 台,轨距 16.35 m,轮距 3.0 m,每台吸泥机配排泥泵 2 台, $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$ , $N = 7.5 \text{ kW}$ 。改造后设计规模为 4 200 m³/h,由于原设计参数较保守,通过计算,现有 2 座即可满足初沉池设计停留时间及表面负荷要求,通过对现状 2#、3# 初沉池设备进行更换,对原初沉池出水堰进行改造,改善水力条件,可提高初沉池的沉淀效率。将现状 1# 初沉池改为接触氧化池,4# 初沉池设备拆除后进行回填,作为综合废水处理站的景观绿化用地。

#### ② 接触氧化池

接触氧化池主要去除 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮等污染物。接触氧化池由现状 1# 初沉池改造而成,设计处理规模为 4 200 m³/h,水力停留时间为 1 h。原初沉池尺寸 47 m × 32 m × 4 m,改造内容主要是在水池内安装填料,进行生物挂膜;安装曝气装置,提供溶解氧和防止污泥沉积;进水侧底部增加布水花墙,出水侧增加集水区,保证填料均匀布水。实际安装组合填料约 1 800 m³,填料填充比 42.86%,填料直径 150 mm,比表面积 1 236 m²/m³,填料通过不锈钢丝进行悬挂,不锈钢丝通过化学螺栓等固定于池壁,填料底部安装微孔曝气管,微孔曝气管长 1 m,管径 65 mm,总计 1 500 根,安装空气悬浮曝气风机 5 台,4 用 1 备,单台  $Q = 80 \text{ m}^3/\text{min}$ , $\Delta P = 50 \text{ kPa}$ , $N = 83 \text{ kW}$ ,变频控制,最大曝气比为 4.6 : 1。接触氧化池改造完成后,经过连续 20 d 自然挂膜成功,通过进水花墙配水,保证均匀布水,出水采用集水渠,恒水位运行,由于停留时间较短、水池面积较小,设计单位面积曝气强度可达到 12.76 m³/m²。另外由于进水溶解氧为 0.5~2 mg/L,近期进水情况下,曝气风机运行 2 台即可满足供氧和搅拌需要。经过约 1 个月的连续进水后,氨氮去除率可稳定达到 80% 左右,COD 去除率可达到 30%~40%,满足设计要求。该池主要缺点是水深偏浅,停留时间偏短。

### ③ 高效沉淀池

高效沉淀池共6组,原单组处理规模为1 000 m<sup>3</sup>/h,改造后单组处理规模为734.5 m<sup>3</sup>/h,本次改造后设计处理规模为4 200 m<sup>3</sup>/h,表面负荷为6.28 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),满足要求。前混凝搅拌机2套,推流式, $D=950\text{ mm}$ , $n=65\text{ r/min}$ , $N=15\text{ kW}$ ;絮凝搅拌器及导流筒6台,变频,推流式, $D=2\ 500\text{ mm}$ , $n=21\text{ r/min}$ , $N=15\text{ kW}$ ;后絮凝搅拌器2台,推流式, $D=950\text{ mm}$ , $n=65\text{ r/min}$ , $N=15\text{ kW}$ ;浓缩搅拌机6台, $D=13.6\text{ m}$ , $H=70\text{ kPa}$ , $n=0.1\text{ r/min}$ , $N=2.2\text{ kW}$ ;污泥回流及排泥泵12台, $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=250\text{ kPa}$ , $N=11\text{ kW}$ 。

### ④ V型滤池

V型滤池6格,单格面积135 m<sup>2</sup>,总面积810 m<sup>2</sup>,原单格处理能力为1 000 m<sup>3</sup>/h,改造后单格能力为717 m<sup>3</sup>/h;本次改造后设计处理规模为4 200 m<sup>3</sup>/h,滤速5.2 m/h,气冲强度14.5 L/(s·m<sup>2</sup>),气水同时冲洗时水冲强度2.0 L/(s·m<sup>2</sup>),单独水冲洗强度4.9 L/(s·m<sup>2</sup>)。滤池反洗泵3台, $Q=1\ 200\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=150\text{ kPa}$ , $N=75\text{ kW}$ 。

主要改造内容和措施如下:

a. 将滤板改造为整体浇筑滤板。滤板采用整体浇筑,预埋ABS工程塑料预埋座,上层配双向、下层配单向优质螺纹钢筋,钢筋与现有水池结合处进行植筋,确保浇筑后的滤板和现有池体完整结合,采用C30商品混凝土水泥浇筑捣实。滤板水平误差在±5 mm以内。滤板表面确保无气泡,没有蜂窝麻面。滤头预埋件需预埋准确,无倒错、歪斜和遗漏现象。预埋件内无堵塞,保证滤头扭紧。滤板与滤头接缝的密封措施必须严密、可靠,不得漏气漏水。每格滤板应在模板中一次浇筑成型。所选用的振捣设备和振捣时间应确保振捣工作正常进行,不损坏模具内的预埋件和钢筋或造成混凝土结构的开裂,倒入混凝土后,滤板应保持平整。

b. 改造配水配气系统,使得滤池配水配气均匀。包括封堵原有配水配气口、重新开配水配气口、滤梁重新找平及恢复平衡孔、对所有V型槽调平,并在槽内安装不锈钢V型槽,保证反洗时均匀扫水、集水渠新增不锈钢挡砂板,减少反洗时滤料流失。

c. 更换滤池板结的滤料。采用石英砂均质滤料,承托层石英砂粒径2~4 mm,厚100 mm;过滤层石英砂粒径0.95~1.35 mm,厚1.2 m。

改造完成后反洗效果良好,运行稳定,出水SS大幅降至5 mg/L左右,出水浊度降至2 NTU以内,达到设计要求。

### ⑤ 超滤

超滤装置能够去除水中的悬浮物、胶体、微生物以及大分子有机物,出水浊度≤0.2 NTU、SDI<sub>15</sub>≤3,满足反渗透的进水要求。超滤共4套,单套产水能力198 m<sup>3</sup>/h,膜通量60 L/(m<sup>2</sup>·h),回收率≥90%。超滤前面设置自清洗过滤器<sup>[12]</sup>滤除大颗粒污染物,对超滤膜起保护作用,过滤精度200 μm,全自动运行,利用定时或压差控制自行进行反洗。超滤给水泵4台,变频, $Q=225\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=320\text{ kPa}$ , $N=30\text{ kW}$ ;超滤反洗泵4台,变频, $Q=300\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=200\text{ kPa}$ , $N=22\text{ kW}$ 。

### ⑥ 一级反渗透

一级反渗透装置主要通过膜对水中的盐类与水进行分离。一级反渗透装置共4套,单套产水能力145 m<sup>3</sup>/h,膜通量21 L/(m<sup>2</sup>·h),回收率75%,脱盐率≥98%。一级反渗透给水泵4台, $Q=220\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=300\text{ kPa}$ , $N=30\text{ kW}$ ;反渗透高压泵4台,变频, $Q=195\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=1.2\text{ MPa}$ , $N=110\text{ kW}$ 。

### ⑦ 浓水反渗透

浓水反渗透装置是一级反渗透浓水的脱盐装置,对一级反渗透浓水进一步浓缩,减少浓水量,提高系统回收率。浓水反渗透装置共2套,单套产水能力68 m<sup>3</sup>/h,膜通量18 L/(m<sup>2</sup>·h),回收率70%,脱盐率≥98%。浓水反渗透给水泵4台, $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=300\text{ kPa}$ , $N=15\text{ kW}$ ;反渗透高压泵2台,变频, $Q=97\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=1.6\text{ MPa}$ , $N=75\text{ kW}$ 。

### ⑧ 湿地公园

湿地公园设计处理能力200 m<sup>3</sup>/h,处理水依次进入氧化塘、水平潜流人工湿地、垂直潜流人工湿地和景观水池<sup>[13]</sup>,湿地公园出水COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮等主要指标可达到地表水Ⅲ类水标准(总氮除外)。湿地公园人工湿地总面积12 000 m<sup>2</sup>,氧化塘停留时间24 h,湿地公园总停留容积可达40 000 m<sup>3</sup>,可作为事故应急水池使用。湿地公园是该厂环境改善和水质提标的亮点。

## 4 处理效果及运行成本

### 4.1 处理效果

该废水处理站自2019年底改造完成投运以来运行稳定,对进水SS、TDS、COD、氨氮及硬度等均具

有较好的去除效果。

预处理系统的处理效果见表3。

表3 预处理系统的处理效果

Tab.3 Treatment effect of pretreatment system

mg · L<sup>-1</sup>

日期	COD		SS		氨氮		TDS		硬度 (CaCO <sub>3</sub> )	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
4月1日	44	28	240	2	5.2	0.5	725	671	328	220
4月2日	42	27	225	3	3.7	0.3	730	675	289	257
4月3日	45	26	210	2	4.2	0.4	688	608	308	246
4月4日	40	25	240	4	2.8	0.1	699	624	354	210
4月5日	39	25	260	3	4.6	0.3	780	703	316	204
4月6日	48	27	244	5	5.7	0.9	742	675	291	189
4月7日	38	26	230	3	4.8	0.5	725	642	344	235
4月8日	30	20	260	5	2.6	0.2	766	601	374	265
4月9日	32	24	248	4	1.9	0.2	714	632	366	261
4月10日	35	25	237	7	1.6	0.1	695	609	328	236
4月11日	33	23	256	5	2.5	0.2	684	598	355	208
4月12日	36	25	245	4	3.4	0.3	687	593	328	209
4月13日	24	16	247	4	2.8	0.2	681	605	339	219
4月14日	26	20	280	6	3.4	0.3	756	685	327	223
4月15日	36	24	275	5	2.8	0.2	788	697	331	246

从表3可以看出,提标改造工程完成后,预处理系统出水指标均达到设计回用水水质要求。预处理系统出水进入超滤系统,由于石灰投加量或进水永久硬度偏高原因,预处理系统出水硬度偶尔略超设计进水的250 mg/L;其余COD、SS、TDS等均能稳定满足超滤反渗透系统设计进水要求。一级反渗透进水或超滤产水浊度 $\leq 0.2$  NTU, SDI<sub>15</sub>  $\leq 3$ , COD  $\leq 12$  mg/L, 硬度 $\leq 265$  mg/L;浓水反渗透各进水指标约为一級反渗透进水指标值的4倍。反渗透系统对进水TDS及硬度等的去除率均达到98%以上。深度处理系统运行稳定,化学清洗周期满足设计要求。

废水处理站经过改造后,正常运行情况下实现无废水外排,新水耗量由2 670 m<sup>3</sup>/h降至约1 800 m<sup>3</sup>/h,全厂对新水的消耗减少约870 m<sup>3</sup>/h;通过超滤反渗透系统深度脱盐后,将浓盐水输送至焦化深度处理车间进一步处置,控制废水中盐含量,确保系统能长期稳定运行。

#### 4.2 运行成本

废水回用设计流量按4 000 m<sup>3</sup>/h考虑,实际运行时,电耗0.47 kW · h/m<sup>3</sup>,电价0.62元/(kW · h);投加PAM 2 mg/L, PAM单价24 000元/t;投加

PAC 30 mg/L, PAC单价2 000元/t;投加石灰150 mg/L,石灰单价1 200元/t;投加盐酸25 mg/L,盐酸单价1 000元/t。该废水站定员9人,人工费6万元/(人 · a),净化水部分电费0.29元/m<sup>3</sup>、药剂费0.28元/m<sup>3</sup>、人工费0.37元/m<sup>3</sup>,合计0.94元/m<sup>3</sup>。按照同种方式计算除盐水系统运行成本,经过运行统计数据,电费0.62元/m<sup>3</sup>,药剂费0.35元/m<sup>3</sup>,人工费0.30元/m<sup>3</sup>,合计直接运行成本1.27元/m<sup>3</sup>。

#### 5 结语

① 该工程改造设计在分析原系统实际处理效果基础上,挖掘改造潜力,充分利用原处理设施,增加深度除盐和湿地净化系统,提高净化水水质,控制净化水中盐含量,提供深度净化的除盐水。

② 将V型滤池原传统滤板更换为整体浇筑滤板,具有施工快、整体性好、接口牢固、气密性好等优点,经过改造后滤池运行效果良好。

③ 接触氧化池可用于处理钢铁行业COD浓度较低的综合废水,在停留时间较短的情况下,处理效果明显,调试及运行管理简单,可有效保证后续反渗透工艺正常运行,降低反渗透浓盐水处理难度。

④ 实际运行表明,钢铁综合废水中胶体物质及溶解盐等含量较高,容易堵塞转刷式自清洗过滤器滤网,造成清洗频繁,在满足超滤膜进水要求前提下,尽量选择较大滤网孔径,孔径不宜小于200 μm。

⑤ 采用格栅+隔油沉砂池+平流沉淀池+接触氧化池+高效沉淀池+V型滤池+超滤+两级反渗透处理工艺处理钢铁综合废水,处理效果好,运行成本低,明显减少了厂区新水耗量,有效控制超标外排,是目前钢铁废水提标改造较经济合理的工艺。废水进入人工湿地净化,对COD、氨氮及总氮等均有一定的去除效果,可起到净化水质和美化环境的双重作用,对于污染较重的钢铁行业的环保治理具有较大借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 肖丙雁,石驰,李勇. 钢铁企业节水潜力分析[J]. 宝钢技术,2018(5):16-19.  
XIAO Bingyan, SHI Chi, LI Yong. Water saving potential analysis of iron and steel enterprises [J]. Baosteel Technology, 2018(5):16-19(in Chinese).
- [2] 王笏曹. 钢铁工业给水排水设计手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.

- WANG Hucao. Water Supply and Drainage Design Manual for Steel Industry [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2002 (in Chinese).
- [3] 阳卫国. 钢铁企业生产废水的深度处理及资源化综合利用[J]. 中国给水排水, 2010, 26(12): 115-117.  
YANG Weigu. Advanced treatment and resource reuse of iron and steel production wastewater[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(12): 115-117 (in Chinese).
- [4] 苏毅, 沈中明, 何刚雁. 气水反冲洗滤池的设计改进[J]. 中国给水排水, 2006, 22(8): 38-42.  
SU Yi, SHEN Zhongming, HE Gangyan. Technical modification of air-water backwash filter [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(8): 38-42 (in Chinese).
- [5] 林小明, 阮永诚, 周欣, 等. 武汉市某自来水厂V型滤池翻修实例[J]. 给水排水, 2019, 45(7): 59-63.  
LIN Xianming, RUAN Yongcheng, ZHOU Xin, et al. Study on V-type filter renovation in a water treatment plant of Wuhan City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(7): 59-63 (in Chinese).
- [6] 肖羽堂, 许建华. 生物接触氧化法净化微污染原水的机理研究[J]. 环境科学, 1999(3): 86-89.  
XIAO Yutang, XU Jianhua. Research on the mechanism of micropollutants removal in the raw water by biochemistry purification process [J]. Environmental Science, 1999(3): 86-89 (in Chinese).
- [7] 仲惟雷, 彭立新. 反渗透技术在钢厂废水零排放项目中的应用[J]. 工业水处理, 2011, 31(11): 81-83.  
ZHONG Weilei, PENG Lixin. Application of Chinese RO technique to the project of wastewater zero-draining of steel works[J]. Industrial Water Treatment, 2011, 31(11): 81-83 (in Chinese).
- [8] 陆善忠, 杨树雄. 双膜法在钢铁企业废水回收利用中的应用[J]. 给水排水, 2008, 34(4): 61-64.  
LU Shanzhong, YANG Shuxiong. Dual membrane process applied for wastewater recovery in steel industry [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(4): 61-64 (in Chinese).
- [9] 程建高, 马敬环, 赵宝军, 等. 海水中硬度离子对反渗透膜有机污染的影响[J]. 膜科学与技术, 2015, 35(4): 49-53, 76.  
CHENG Jianga, MA Jinghuan, ZHAO Baojun, et al. Effect of hardness ions in seawater on organic fouling of reverse osmosis membrane [J]. Membrane Science and Technology, 2015, 35(4): 49-53, 76 (in Chinese).
- [10] 陶若虹, 姚宏, 邢锴. 污水回用深度处理中有机物对反渗透膜污染研究[J]. 北京交通大学学报, 2011, 35(4): 125-129.  
TAO Ruohong, YAO Hong, XING Kai. Fouling of reverse osmosis membrane by organic substances in advanced wastewater reclamation [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2011, 35(4): 125-129 (in Chinese).
- [11] HOWE K Y, CLARK M M. Effect of coagulation pretreatment on membrane filtration performance [J]. Journal AWWA, 2006, 98(4): 133-146.
- [12] 冉晓东. 全自动自清洗管道过滤器在运行中存在的问题及对策[J]. 中国给水排水, 2008, 24(18): 92-93, 96.  
RAN Xiaodong. Problems and countermeasures in operation of automatic self-cleaning pipeline filters [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(18): 92-93, 96 (in Chinese).
- [13] 籍国东, 孙铁珩, 李顺. 人工湿地及其在工业废水处理中的应用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 224-228.  
JI Guodong, SUN Tieheng, LI Shun. Constructed wetland and its application in industrial wastewater treatment [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(2): 224-228 (in Chinese).

作者简介: 郭荣华(1985-), 男, 湖南益阳人, 大学本科, 工程师, 主要从事给排水设计工作。

E-mail: 349035950@qq.com

收稿日期: 2020-06-11

修回日期: 2020-08-21

(编辑: 衣春敏)